# Beitrag zur Psychrometrischen Feuchtigkeitsmessung

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich-Wilhelm-Universität
zu Berlin

von

Elisabeth de Bary
aus Antwerpen

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Februar 1939
Tag der Promotion: 15. November 1939

N 78

Berichterstatter:

Prof. Dr. Defant
Prof. Dr. Bartels

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

SCHETTLERDRUCK KÖTHEN/ANHALT

# Inhaltsverzeichnis


Seite

I. Einleitung . . . . . 5

II. Theorie der thermischen Transformation eines Luftkörpers zur Feuchtigkeitsbestimmung . . . . . 10

III. Feuchtigkeitsmessungen mit dem beheizten Aßmann'schen Aspirationspsychrometer:

a) Versuchsanordnung . . . . . 13

b) Meßergebnisse . . . . . 17

IV. Feuchtigkeitsmessungen mit dem beheizten Multizellular-Thermoelement von Lange:

a) Beschreibung des Multizellular-Thermoelementes . . . 29

b) Versuchsanordnung: . . . . . 31

c) Eichung des Multizellular-Thermoelementes . . . . . 37

d) Meßergebnisse . . . . . 38

V. Zusammenfassung . . . . . 44

Literaturangaben . . . . . 47

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543927_0146

# I. Einleitung

Die vorliegende Arbeit versucht nach zwei Richtungen hin die Methoden der psychrometrischen Feuchtigkeitsmessung zu erweitern. Einmal rein prinzipiell, indem sie zeigt, daß man den Temperaturzustand eines Luftkörpers, dessen Feuchtigkeit bestimmt werden soll, vor der Messung verändern kann, ohne daß die Genauigkeit der Feuchtigkeitsbestimmung hierdurch beeinträchtigt wird. Die Änderung des Temperaturzustandes erfolgt hierbei jedesmal im Sinne einer Erwärmung. Hierdurch wird es einmal ermöglicht, die Feuchtigkeitsmessung bei tiefen Temperaturen in ein solches Temperaturintervall zu legen, bei dem für das befeuchtete Thermometer eine Vereisung nicht mehr auftritt. Andrerseits kann hierdurch die Messung bei übersättigten Zuständen bzw. fein verteilten Wassertröpfchen (Nebel und Wolken) in einen ungesättigten Zustandsbereich verlegt werden, in dem allein — wenigstens mit den vorhandenen Geräten — eine zuverlässige Messung des Wasserdampf- bzw. Wassergehaltes unter solchen Bedingungen möglich ist.

Der andere Versuch eines Beitrages zur psychrometrischen Feuchtigkeitsmessung geht nach der instrumentellen Seite hin. Er ergibt sich fast zwangsläufig aus dem Vorschlag einer Beheizung des Luftkörpers vor der Feuchtigkeitsmessung. Wie die später ausführlich dargestellten Versuche erkennen lassen, ist es wünschenswert, die Trägheit solcher Psychrometer, mit denen bei künstlich aufgeheizter Luft gemessen werden soll, wesentlich herabzudrücken. Sodann kann bei geringen Dampf-

spannungen, wie sie bei tiefen Temperaturen auftreten und naturgemäß auch nach einer künstlichen Beheizung des Luftkörpers fortbestehen, lediglich dann eine befriedigende Genauigkeit der Psychrometermessungen erreicht werden, wenn sich bereits sehr kleine Unterschiede in der Psychrometerdifferenz zuverlässig ermitteln lassen. Dies erschien aber nur unter der Bedingung durchführbar, daß sich die beiden Ablesungen des trockenen und des feuchten Thermometers — die jede für sich mit einem Fehler behaftet sind — durch eine einzige Ablesung ersetzen lassen, die unmittelbar die Temperaturdifferenz zwischen den beiden (trockenen und feuchten) Thermometern mit großer Empfindlichkeit umschreibt. Es war deshalb naheliegend, hierfür eine Messung auf thermoelektrischer Grundlage in Betracht zu ziehen, bei der die eine Lötstelle das trockene, die andere, irgendwie feucht zu haltende, Lötstelle das feuchte Thermometer ersetzte. An sich sind thermoelektrische Psychrometer bereits verwendet worden, insbesondere als Fernpsychrometer[1]). Für den vorliegenden Zweck erschienen jedoch die bekanntgewordenen Ausführungen unzureichend, da sie weder hinsichtlich einer praktisch vernachlässigbaren Trägheit noch hinsichtlich der Forderung sehr hoher Empfindlichkeit den zu stellenden Anforderungen genügen dürften. Hier konnte nun ein erheblicher Fortschritt durch Verwendung des von der Firma Dr. Bruno Lange in Berlin-Dahlem in den Handel gebrachten Multizellular-Thermoelements erreicht werden. Der Vorteil dieses neuen Thermomultiplikators liegt darin, daß der Thermoeffekt durch verschiedene (oberflächliche) chemische Behandlung sehr dünner Drähte erzielt wird, so daß somit die (eine Trägheitswirkung bedingenden) Lötstellen völlig fortfallen. Außerdem ist die Empfindlichkeit dieser Zelle sehr groß, da hier hundert Einzelelemente in Reihe geschaltet sind.

[1]) I. Cartus: ZS. d. Vereinigung deutscher Ingenieure 1921, 767. — Ferner ETZ. 1921, 1176.

Als bisher zuverlässigstes und deshalb sehr weitgehend verwendetes Gerät zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit bei nicht zu tiefen Temperaturen ist das Aßmannsche Aspirationspsychrometer anzusehen. Seine Angaben sind im allgemeinen bis auf 1% genau. Aus diesem Grunde wurden die ersten Versuche zur Prüfung der Methode der thermischen Transformation des Luftkörpers für die Feuchtigkeitsbestimmung, über die im Abschnitt III berichtet wird, mit diesem Gerät vorgenommen. Mit abnehmender Temperatur steigt seine Fehlergrenze allerdings erheblich an[2]). Dies liegt einmal in der Vereisungsgefahr der wasserführenden Hülle des feuchten Thermometers. Sodann aber auch daran, daß eine kleine Abweichung in der Bestimmung des Dampfdruckes bei den hier auftretenden niedrigen Dampfspannungen bereits einen erheblichen Fehler in die Bestimmung der relativen Feuchtigkeit hineinträgt[3]). Dieser Mangel ist somit nicht unmittelbar in der Methode selbst, sondern in der Beschränkung der Ablesegenauigkeit der beiden Thermometer begründet. Bei der thermischen Transformation des Luftkörpers kann nur die Vereisungsgefahr behoben werden. Der Mangel einer ungenügenden Feinablesung bei Verwendung des Aßmannschen Aspirationspsychrometers zur Feuchtigkeitsbestimmung eines aufgeheizten, vorher auf sehr niedriger Temperatur befindlichen Luftkörpers bleibt nach wie vor bestehen, da ja die Dampfspannung bei einer isobaren Erwärmung konstant bleibt, wie nachher gezeigt werden wird. Wenn trotzdem die im Abschnitt III beschriebenen Versuche mit diesem Gerät durchgeführt wurden, so wurde dies deshalb gemacht, weil es sich hier lediglich um den Nachweis der Brauchbarkeit der Methode der thermischen Transformation eines Luftkörpers für die Feuchtigkeitsbestimmung unter den einfachsten und übersichtlichsten

[2]) M. Robitzsch: Beobachtungsmethoden. S. 56.
[3]) H. Bongards: Feuchtigkeitsmessungen. S. 144.

Bedingungen handelte. Wenn die Brauchbarkeit dieses Weges an sich im übernächsten Abschnitt nachgewiesen werden kann, so ist es ohne weiteres klar, daß seine Anwendung auf die Feuchtigkeitsbestimmung sehr kühler Luftkörper nur eine Frage eines entsprechend durchgebildeten Gerätes von genügend großer Empfindlichkeit ist, da ja die sehr wesentliche Fehlerquelle aus der Vereisungsgefahr infolge der thermischen Transformation des kühlen Luftkörpers ausgeschaltet wird. Ein solches Gerät, das durchaus hoffnungsvoll erscheint, wird im Abschnitt IV beschrieben, in dem auch über die hiermit durchgeführten Versuche berichtet wird. Es beruht, wie bereits hervorgehoben wurde, im Prinzip auf dem Multizellular-Thermoelement der Firma Dr. Bruno Lange.

Selbstverständlich kann die Anwendung der Methode der thermischen Transformation eines Luftkörpers zur Feuchtigkeitsbestimmung nur eine beschränkte sein. Es würde keinen Sinn haben, etwa bei sommerlichen Temperaturen hiernach die Feuchtigkeit eines ungesättigten Luftkörpers zu bestimmen, denn die größere Umständlichkeit der Methode würde hier durch keinen irgendwie ersichtlichen Vorteil aufgewogen werden. Dafür dürfte der Vorteil dieses Weges bei der Bestimmung der Feuchtigkeit solcher Luftkörper, die entweder übersättigt sind oder Wasser in fein verteilten Tröpfchen (Nebel bzw. Wolken) enthalten, ohne weiteres einleuchtend sein.

Für die Feuchtigkeitsbestimmungen bei tiefen Temperaturen konnten bisher nur die Haarhygrometer empfohlen werden[4]), die noch bis zu einer Temperatur von — 40° C durchaus brauchbare Angaben liefern[5]). Nachteilig wirkt sich jedoch hierbei ihre große Trägheit aus,

[4]) E. Kleinschmidt: Instrumentenkunde. S. 22.
M. Robitzsch: Beobachtungsmethoden. S. 69.

[5]) E. Kleinschmidt: Feuchtigkeitsmessungen bei Registrierballonaufstiegen. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosph. 2. 1908, 99.

die rasche Schwankungen der Luftfeuchtigkeit nicht mehr erkennen läßt. Ein Bedürfnis, die Messungen der Luftfeuchtigkeit bei tiefen Temperaturen durch die Methode der thermischen Transformation unter Verwendung eines hochempfindlichen thermoelektrischen Psychrometers zu vervollkommnen, das praktisch trägheitslos arbeitet, dürfte deshalb durchaus vorliegen.

Erst während meiner Versuche wurde mir bekannt, daß das Prinzip der thermischen Transformation bereits von Hilding Köhler zur Bestimmung des Wassergehaltes von Wolken angewandt worden ist[6]). Er konnte hiermit zum ersten Male wirklich brauchbare Angaben machen. Die Genauigkeit seiner Messungen schätzt er auf $\pm$ 2% ein. Vorher waren nur wenige Messungen über den Wassergehalt der Wolken bekannt geworden, die fast sämtlich mit unzulänglichen chemischen Methoden arbeiteten. Auch die Messungen von F. Albrecht[7]), der den Wassergehalt von Wolken mittels eines beheizten Haarhygrometers bestimmte, dürften noch nicht ausreichend verläßlich sein. Er weist selbst auf die erheblichen Schwierigkeiten hin, die einer exakten Lösung dieser Aufgaben bisher entgegenstanden.

---

[6]) H. Köhler: Eine Methode zur Bestimmung des Wassergehaltes der Wolken. Meddelanden från Statens Meteorologisk hydrografiska Anstalt. 5, 1928, 3.

[7]) F. Albrecht: Das geheizte Haarhygrometer als Meßgerät des Wassergehaltes von Wolken und Nebeln. Met. ZS. 1925, 468.

# II. Theorie der thermischen Transformation eines Luftkörpers zur Feuchtigkeitsbestimmung

Das Prinzip der thermischen Transformation eines Luftkörpers zur Feuchtigkeitsbestimmung beruht auf folgenden thermodynamischen Grundlagen. Zunächst ist es klar, daß sich der Zustand eines Luftkörpers, der unter dem jeweils bestehenden Luftdruck P erwärmt wird, nach einer thermodynamischen Isobare ändern muß. Wir gehen nun bei unserer Untersuchung von der räumlichen Zusammensetzung des Gasgemisches Luft-Wasserdampf aus, wobei wir der Einfachheit halber die Gewichtseinheit der feuchten Luft mit dem spezifischen Volumen v betrachten wollen. Dann kann man sich bekanntlich das Volumen v in zwei Summanden

(1) $$v = V_1 + V_2$$

zerlegt denken, von denen $V_1$ den Raumanspruch des trockenen Luftanteils und $V_2$ den Raumanspruch des Wasserdampfes darstellt, wenn man beide bei konstanter absoluter Temperatur T auf den äußeren Gesamtdruck P komprimieren würde. Stellt x den Anteil des Wasserdampfes an der Gewichtseinheit der feuchten Luft dar, so hat der Anteil der trockenen Luft hieran den Betrag: $1-x$. Bezeichnet $R_w$ die spezifische Gaskonstante des Wasserdampfes und $R_1$ die der trockenen Luft, so ist jeder der beiden Raumanteile $V_1$ bzw. $V_2$ bestimmt durch die Beziehung

(2) $$P = \frac{R_w \cdot x \cdot T}{V_1}$$

und

$$P = \frac{R_1 (1-x)\, T}{V_2} \tag{2a}$$

Aus (2) und (2a) folgt

$$\frac{R_w \cdot x \cdot T}{V_1} = \frac{R_1 (1-x)\, T}{V_2} \tag{3}$$

Die Gleichung (3) muß ihre Gültigkeit auch dann behalten, wenn das Gasgemisch unter konstantem Druck P erwärmt wird. Nun folgt aus (3) für diesen Prozeß ohne weiteres die Vorschrift

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1-x}{x} \cdot \frac{R_1}{R_w} = \text{constans}, \tag{4}$$

da ja die Anteile x des Wasserdampfes und $1-x$ der trockenen Luft an der Gewichtseinheit der feuchten Luft unverändert bleiben müssen. Wir erhalten also die Aussage, daß das Verhältnis der beiden Raumanteile $V_1$ und $V_2$ zueinander in dem Erhitzungsprozeß konstant bleibt. Nun verhalten sich bekanntlich die Partialdrucke eines Gasgemisches zum Gesamtdruck wie ihre Raumanteile zum Gesamtvolumen. Bezeichnet e den Partialdruck des Wasserdampfes und p den Partialdruck der trockenen Luft, so muß demnach

$$e = \frac{V_1}{v} \cdot P \tag{5}$$

und

$$p = \frac{V_2}{v} \cdot P \tag{5a}$$

sein. Dividieren wir (5) und (5a) durcheinander, so ergibt sich

$$\frac{e}{p} = \frac{V_1}{V_2} \tag{6}$$

Da nach (4) der Quotient der beiden Raumanteile $V_1$ und $V_2$ in unserm Prozeß konstant bleibt, so erhalten wir hiermit aus (6) für die Erwärmung die Bedingung

$$\frac{e}{p} = \text{constans} \tag{7}$$

Da weiterhin für einen isobaren Prozeß die Forderung

(8) $$P = e + p = \text{constans}$$

besteht, so folgt aus (7) und (8) für die thermische Transformation des feuchten Luftkörpers

$$e = \text{constans}$$
$$p = \text{constans}$$

Die Spannung e des Wasserdampfgehaltes der feuchten Luft bleibt bei der thermischen Transformation des Luftkörpers somit unverändert[8]). Die Ermittlung der Dampfspannung e geht nun so vor sich, daß man die erwärmte Luft auf ein feuchtes und ein trockenes Thermometer einwirken läßt. Aus der Psychrometerdifferenz der beiden Thermometer geht dann die Dampfspannung e hervor, die naturgemäß für die Temperatur des erwärmten Luftkörpers aufzusuchen ist. Um hiermit die relative Feuchtigkeit des Luftkörpers vor seiner Erwärmung angeben zu können, muß seine Temperatur vor der thermischen Transformation gemessen werden. Für diese Temperatur kann dann eine Sättigungsspannung $E_0$ ermittelt werden. Dann ist die relative Feuchtigkeit des Luftkörpers vor der thermischen Transformation gegeben durch

(9) $$R = \frac{e}{E_0}$$

Ist in der Luft fein verteilt Wasser im tropfbar flüssigem Zustande vorhanden, so verdampft dieser Wasseranteil zunächst bei der thermischen Transformation, wenn man mit der Erwärmung genügend hoch hinaufgeht. Aus der bei der thermischen Transformation ermittelten Spannung e des Wasserdampfes läßt sich dann ohne weiteres der gesamte Wassergehalt des Luftkörpers berechnen. Hierbei erhält man zunächst allerdings nicht nur den Wassergehalt, der allein in tropfbar flüssiger Form fein verteilt in dem Luftkörper vor seiner Wärmebeein-

[8]) Zu dem gleichen Ergebnis, allerdings auf einem anderen Wege, kommt auch H. Köhler in der bereits zitierten Arbeit.

flussung suspendiert war, sondern auch noch zusätzlich den Wasseranteil, der bereits vor der thermischen Transformation in dampfförmigem Zustande im Luftkörper enthalten war. Um beide Anteile zu trennen, kann man einmal die Luft vor der Erwärmung durch ein Wattefilter oder dergleichen ansaugen, im andern Falle ohne ein solches Filter. Im ersten Falle geht das tropfbar flüssig suspendierte Wasser nicht in die Dampfspannung der thermischen Transformation ein, so daß man aus der Differenz zweier solcher Messungen den unmittelbaren Gehalt an tropfbar flüssigem Wasser von Wolken oder Nebeln angeben kann.

## III. Feuchtigkeitsmessungen mit dem beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer

### a) Die Versuchsanordnung:

Die ersten Versuche wurden in einem abgeschlossenen Raume des Meteorologischen Institutes der Universität Berlin ausgeführt. Hier waren nur geringe Schwankungen der sämtlichen Zustandsgrößen zu erwarten, was für die Ausschaltung vermeidbarer Fehlerquellen zunächst als wünschenswert angesehen wurde. Außerdem war es hier möglich, die Luftfeuchtigkeit durch Ausstreuen von Calciumchlorid bzw. durch Verkochen von Wasser in einem gewollten Sinne zu verändern.

Die Versuchsanordnung war folgende: Auf einem Tische stand ein mit Widerstandsdraht bespannter Rahmen, über dem, in nur geringer Höhe, das von ihm zu beheizende Aßmannsche Aspirationspsychrometer hing. Über dem anderen Ende des Tisches, in gleicher Höhe, befand sich der unbeheizte Aßmann. Um eine Kontrolle

darüber zu haben, ob dieser unbeheizte Aßmann nicht auch von der Heizvorrichtung beeinflußt wurde, hatte ich am anderen, genügend entfernten Ende des Raumes ein Thermometer aufgehängt, das in Zehntel-Grade geteilt war. Hieran ließ sich jeweils die wahre Zimmertemperatur feststellen.

Die Beheizung des Widerstandsrahmens konnte ich mittels eines vorgeschalteten Schiebewiderstandes regeln. Seine möglichen Einflüsse wurden von vornherein dadurch ausgeschaltet, daß ich ihn in ausreichender Entfernung auf einem Regal aufstellte. Um die relative Feuchtigkeit des Raumes zu variieren, ließ ich von Zeit zu Zeit in einem Kochkessel Wasser verdampfen. Dieser stand auf dem Boden, seitlich vom Tisch. Da aber das Kochen offenbar meine Messungen beeinflußte, habe ich sie später stets unterbrochen, solange das Wasser kochte. Während der Messungen stellte es sich heraus, daß die Beheizung der Aßmannrohre infolge der Turbulenz der erhitzten Luft nicht gleichmäßig war. Es traten am trockenen Thermometer Schwankungen bis zu 1° C auf. Da das feuchte Thermometer träger ist, mußten hierdurch Fehler verursacht werden. Ich versuchte diese Fehlerquelle dadurch zu verringern, daß ich eine Asbestplatte auf den Widerstandsdraht auflegte und das Aßmannsche Aspirationspsychrometer sehr nahe an diese Platte heranbrachte. Der durch die Turbulenz bedingte Fehler wurde hierdurch merklich herabgedrückt. Trotzdem entsprachen die Meßergebnisse aber noch immer nicht den zu stellenden Anforderungen. Ich tauchte deshalb die beiden Rohre des Aßmannschen Aspirationspsychrometers in einen Porzellantopf, den ich auf den Widerstandsdraht stellte. Die Genauigkeit der Messungen wurde hierdurch weiterhin verbessert. Allerdings dürfte der Einfluß der Turbulenz auch durch diese Anordnung noch nicht vollständig ausgeschaltet sein, so daß eine (verringerte) Fehlerquelle hieraus fortbesteht.

Der zweckmäßigste — allerdings hier nicht mehr beschrittene — Weg, die Meßgenauigkeit weiterhin zu steigern, dürfte wohl der sein, daß man den Heizwiderstand unmittelbar in das Aßmannsche Aspirationspsychrometer, gleich unterhalb der beiden Thermometer, einbaut. Man müßte dann den heizenden Widerstandsdraht aufspulen und in einem Vorsatzrohr befestigen, das sich in zwei engere Rohre vergabelt, die genügend dicht, aber leicht abnehmbar, auf die beiden Thermometerrohre des Aßmannschen Aspirationspsychrometers aufgeschoben bzw. eingeschoben werden. Es muß hierbei darauf geachtet werden, daß das feuchte Thermometer leicht zugänglich ist, da es infolge der Beheizung sehr oft neu befeuchtet werden muß.

Damit sich die Psychrometerkonstante durch das Vorsatzrohr nicht ändert, ist dafür zu sorgen, daß die Windgeschwindigkeit, mit der die Luft an beiden Thermometern vorbeistreicht, hierdurch nicht verändert wird. Entweder muß der Durchmesser des Vorsatzrohres hierauf abgestimmt werden, oder die Umdrehungsgeschwindigkeit des Ventilators ist entsprechend zu erhöhen oder zu verringern. Allerdings wird in der einschlägigen Literatur darauf hingewiesen, daß eine geringe Zunahme der Windgeschwindigkeit bei Geschwindigkeiten über 2,5 m/sec keine große Rolle spielt. Hierauf möchte ich besonders im Hinblick auf die bereits erwähnte Arbeit von H. Köhler hinweisen. Auch er hat ein Vorsatzstück an das Psychrometer angebaut, in dem er die Beheizung, die er „Ofen“ nennt, befestigt.

In Abbildung 1 ist eine besonders einfache und zweckmäßige Ausführungsform des Beheizungskörpers als Vorsatz vor das Aßmannsche Aspirationspsychrometer in einem Querschnitt dargestellt.

Die Bezugszeichen bedeuten:

E: Ende des Aßmannschen Aspirationspsychrometers.

T: Thermometer des Aßmannschen Aspirationspsychrometers.

Z: Zusatzrohr.

H: Heizwiderstand.

S: Stromkreis.

Am bequemsten für den Beobachter wäre es, wenn man ein solches heizbares Aspirationspsychrometer mit drei Thermometern versehen würde. Hierbei wären zwei Thermometer — ein trokkenes und ein feuchtes — zur Ermittlung der Psychrometerdifferenz in den beheizten Luftstrom zu legen, während das dritte Thermometer von der Außenluft bespült werden müßte. Man könnte dann an dem Gerät sämtliche Beobachtungswerte ablesen, die für die Errechnung der relativen Feuchtigkeit erforderlich sind: Außentemperatur, die Temperatur des beheizten trockenen und die des beheizten feuchten Thermometers. Wenn der Apparat mit dem von der Außenluft bespülten Thermometer gegen den Wind gehalten wird, dürfte eine Beeinflussung dieses „Außenthermometers" durch den Heizwiderstand nicht zu befürchten sein. Jedoch

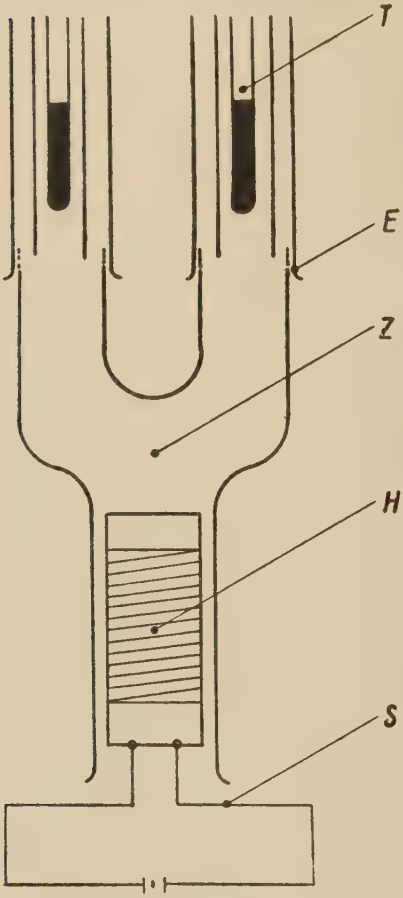

Abbildung 1

muß hierbei der Ventilator ausreichend stark sein, damit die Windgeschwindigkeit innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen bleibt.

### b) Meßergebnisse:

Bei den Messungen im geschlossenen Raume habe ich den festgestellten Dampfdruck stets auf den maximalen Dampfdruck der an einem entfernten Thermometer abgelesenen Zimmertemperatur bezogen, da ich bei dem trockenen Thermometer des unbeheizten Aßmann einen Einfluß des Heizwiderstandes befürchtete. Dieser Einfluß kam auch tatsächlich in einer Differenz der Angaben dieser beiden Thermometer zum Ausdruck.

Während der Messungen wurden die beiden miteinander zu vergleichenden Aßmannschen Aspirationspsychrometer jedesmal gleich nacheinander abgelesen. Theoretisch müßte der sich aus den Messungen ergebende Dampfdruck in beiden Fällen genau der gleiche sein, wie in Abschnitt II nachgewiesen wurde.

In den nachfolgenden Tabellen bezeichnet:

t: Temperatur des trockenen Thermometers
f: Temperatur des feuchten Thermometers
e: Dampfspannung
r: Relative Feuchtigkeit in %
} des unbeheizten Aßmann.

Z: Zeit

T: Temperatur des trockenen Thermometers
F: Temperatur des feuchten Thermometers
e: Dampfspannung
R: Relative Feuchtigkeit in %
} des beheizten Aßmann.

$\tau$: Zimmertemperatur
E: Maximale Dampfspannung
Bh: Betrag der Beheizung in Grad.
D: Differenz r — R, immer auf den unbeheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer bezogen.

Tabelle 1.

| τ | t (T) | f (F) | e (e,) | r (R) | E | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 19,1 | 19,1 | 14,4 | 9,9 | 60 | 16,6 | – |
| 19,2 | 37,6 | 21,2 | 10,7 | 64 | 16,7 | +4 |
| 19,2 | 39,4 | 21,4 | 10,1 | 60 | 16,7 | ±0 |
| 19,2 | 37,0 | 20,8 | 10,3 | 62 | 16,7 | +2 |
| 19,8 | 19,8 | 14,3 | 9,5 | 55 | 17,3 | – |
| 19,2 | 40,0 | 21,2 | 9,5 | 57 | 16,7 | +2 |
| 20,0 | 20,4 | 14,8 | 9,8 | 56 | 17,5 | +1 |
| 20,0 | 39,6 | 21,1 | 9,5 | 54 | 17,5 | −1 |
| 20,0 | 40,8 | 22,0 | 10,4 | 59 | 17,5 | +4 |
| 19,9 | 19,9 | 16,0 | 11,7 | 67 | 17,4 | – |
| 19,9 | 40,0 | 22,6 | 11,8 | 68 | 17,4 | +1 |
| 19,9 | 21,0 | 16,5 | 11,8 | 68 | 17,4 | +1 |
| 20,0 | 38,8 | 20,0 | 11,4 | 65 | 17,5 | −2 |
| 20,0 | 39,4 | 22,2 | 11,5 | 66 | 17,5 | −1 |
| 19,4 | 19,4 | 15,0 | 10,6 | 63 | 16,9 | – |
| 19,4 | 20,6 | 15,2 | 10,3 | 61 | 16,9 | −2 |

Bei der ersten Meßreihe der Tabelle 1 habe ich nicht sämtliche Messungen mit beiden Aspirationspsychrometern durchgeführt. Ich begann hierbei jedesmal mit einer Messung mit dem unbeheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer, der dann einige dazugehörige Beobachtungen mit dem beheizten Aßmann folgten. Die Tabelle wurde entsprechend unterteilt. Die Feuchtigkeit wurde durch Verdampfen von kochendem Wasser verändert.

Bei den Messungen der Tabelle 2 ließ ich mehrfach während der Beobachtungen Wasser im Raum verkochen, nämlich von 17.52—17.54 Uhr und von 18.12—18.18 Uhr. Es ist auffallend, daß die Werte des beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometers gerade in diesen Fällen immer um mehrere Prozent zu hoch liegen.

Die gleiche Erscheinung bemerken wir in Tabelle 3 bei den Messungen zwischen 16.15 und 16.35 Uhr. Auch in

dieser Zeit ließ ich wieder Wasser verdampfen. Es waren wahrscheinlich noch feine Wassertröpfchen in der Luft vorhanden, die durch die Erhitzung der Luft verdampften. Dies wird dadurch besonders unterstrichen, daß die

Tabelle 2.

| Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|
| 17.00 | 19.8 | 0.6 | 64 | +1 |
| 12 | 19.8 | 19.8 | 65 | +3 |
| 20 | 19.8 | 18.0 | 65 | +4 |
| 24 | 19.9 | 19.5 | 66 | −3 |
| 52 | 19.9 | 16.0 | 78 | +4 |
| 54 | 19.9 | 17.0 | 71 | +3 |
| 18.12 | 20 0 | 15.8 | 78 | +6 |
| 15 | 20.0 | 14.8 | 76 | +6 |
| 18 | 20.0 | 21.0 | 74 | +2 |
| 21 | 20.0 | 18.8 | 74 | −5 |
| 33 | 20.1 | 0.3 | 69 | ±0 |
| 40 | 20.1 | 17.9 | 71 | +6 |
| 43 | 20 1 | 18 9 | 71 | +1 |

Tabelle 3.

| Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|
| 16 03 | 19.6 | 18.9 | 73 | ± 0 |
| 16.15 | 19.6 | 16.6 | 77 | +16 |
| 16.20 | 19.7 | 17.8 | 76 | + 5 |
| 16.27 | 19.8 | 16.2 | 81 | +12 |
| 16.35 | 19.9 | 17.6 | 79 | + 7 |
| 17.00 | 19 7 | 0.4 | 74 | ± 0 |

Feuchtigkeitswerte beider Psychrometer in den Zeiten, in denen kein Wasser verdampft wurde, im Gegensatz zu den anderen Messungen, auffallend gut übereinstimmen. Aus diesem Grunde wurden die Beobachtungen in sämtlichen folgenden Meßreihen stets während der Verdampfung unterbrochen.

Tabelle 4.

| Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|
| 17.15 | 19.8 | 19.4 | 73 | — 4 |
| 18 | 20.8 | 14.6 | 70 | — 6 |
| 25 | 20.0 | 10.6 | 70 | — 5 |
| 29 | 20.0 | 9.4 | 70 | — 1 |
| 33 | 20.0 | 6.5 | 70 | — 2 |
| 35 | 20.0 | 4.5 | 70 | ± 0 |
| 38 | 20.0 | 10.8 | 70 | — 4 |
| 42 | 20.0 | 9.5 | 70 | — 3 |
| 45 | 20.0 | 6.4 | 70 | — 4 |
| 55 | 20.0 | 4.2 | 70 | — 4 |
| 18.00 | 20.0 | 1.0 | 67 | — 1 |

Da die Werte des beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometers immer noch stark von denen des unbeheizten abwichen, wurde jetzt eine Asbestplatte auf den Heizwiderstand gelegt, an die ich nun ganz nahe mit dem Aßmannschen Aspirationspsychrometer heranging. Die Genauigkeit wurde etwas größer, wie aus Tabelle 4 hervorgeht. Die letzte Messung mit dem unbeheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer wurde über der erkalteten Heizplatte durchgeführt. Es scheint, als ob dort tatsächlich die Feuchtigkeit etwas geringer gewesen ist, was in allen Werten des beheizten Aßmann zum Ausdruck kommt.

Bei den weiteren Messungen wurde nun der beheizte Aßmannsche Aspirationspsychrometer in einen Porzellantopf getaucht, ungefähr 3 cm tief. Der Porzellantopf wurde auf den Heizwiderstand gestellt. Es sei hier nochmals hervorgehoben, daß immer auf eine sehr gleichmäßige Durchlüftung geachtet werden muß, denn schon eine kleine Abnahme der Umdrehungsgeschwindigkeit des Aspirators verursacht bereits merkliche Fehler. Ebenso mußte stets für eine ausreichende Befeuchtung des feuchten Thermometers gesorgt werden. Besonders beim beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer

ist der Mull sehr schnell wieder trocken, da die vorbeistreichende beheizte Luft eine wesentlich verringerte relative Feuchtigkeit und deshalb eine größere Verdampfungswirkung hat.

Tabelle 5.

| Z | τ | Bh | r | D | Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13.14 | 19.1 | 18.4 | 63 | −1 | 14.46 | 19.9 | 19.1 | 68 | +3 |
| 21 | 19.4 | 19.4 | 63 | ±0 | 50 | 20.4 | 17.1 | 68 | −1 |
| 25 | 19.4 | 17.2 | 63 | ±0 | 16.28 | 20.4 | 18.6 | 68 | −2 |
| 28 | 19.4 | 20.6 | 63 | ±0 | 33 | 20.5 | 17.3 | 78 | −2 |
| 35 | 19.4 | 18.6 | 63 | −3 | 42 | 20.5 | 19.2 | 77 | +1 |
| 40 | 19.4 | 16.1 | 63 | ±0 | 48 | 20.5 | 20.1 | 76 | +3 |
| 14.22 | 19.7 | 13.9 | 72 | −1 | 50 | 20.5 | 17.0 | 76 | +1 |
| 26 | 19.7 | 19.0 | 69 | −2 | 53 | 20.5 | 18.2 | 76 | −4 |
| 35 | 19.8 | 18 7 | 69 | ±0 | 55 | 20.5 | 19.0 | 73 | −2 |
| 38 | 19.8 | 18.8 | 68 | ±0 | 56 | 20.5 | 18.9 | 74 | −3 |
| 41 | 19.9 | 19.2 | 68 | −1 | | | | | |

Zu den Messungen der Tabelle 5 ist zu erwähnen, daß ich in der Zeit von 13.35 bis 14.22 Uhr einen Kessel Wasser auskochen ließ. Danach füllte ich den Kessel wieder mit Wasser, das um 16.46 Uhr zu kochen anfing. Hierdurch könnte vielleicht die Abweichung der auf diese Zeit fallenden Beobachtung erklärt werden. Ich schaltete die Beheizung des Wassers sofort aus und stellte den Kessel in eine Ecke des Raumes. Zwischen 14.50 bis 16.28 Uhr ließ ich wieder Wasser verdampfen.

In den Messungen der Tabelle 6 wird der Einfluß einer ungenügenden Federspannung des Aspirators erkennbar. In mehreren Fällen war das Federwerk nahezu abgelaufen. Offenbar ergeben sich hierdurch zu hohe Werte für die relative Feuchtigkeit. Dies läßt sich folgendermaßen erklären: Die das feuchte Thermometer umhüllende gesättigte Luft wird verlangsamt abgesaugt, wodurch die Verdunstung beeinträchtigt wird. Damit wird der Wärmeentzug und somit die Abkühlung des

Tabelle 6.

| Z | τ | Bh | r | D | Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18.16 | 19.4 | 17.5 | 64 | ±0 | 18.51 | 19.8 | 10.0 | 62 | ±0 |
| 18 | 19.4 | 19.5 | 64 | ±0 | 53 | 19.8 | 8.0 | 62 | +1 |
| 20 | 19.4 | 15.7 | 64 | +1 | 55 | 19.8 | 7.5 | 62 | ±0 |
| 22 | 19.5 | 17.9 | 64 | +5 | 57 | 19.8 | 13.2 | 62 | +1 |
| 23 | 19.5 | 19.2 | 64 | +6 | 59 | 19.8 | 17.6 | 62 | +6 |
| 26 | 19.5 | 18.0 | 64 | −6 | 19.06 | 19.9 | 19.0 | 63 | +1 |
| 28 | 19.5 | 19.0 | 64 | +2 | 08 | 19.9 | 18.3 | 63 | +1 |
| 33 | 19.6 | 18.0 | 63 | ±0 | 10 | 19.9 | 11.8 | 63 | −3 |
| 35 | 19.6 | 19.0 | 63 | ±0 | 12 | 19.9 | 10.8 | 63 | −3 |
| 37 | 19.7 | 17.8 | 63 | +1 | 13 | 19.9 | 9.8 | 63 | −1 |
| 45 | 19.8 | 11.0 | 64 | −3 | 15 | 19.9 | 8.8 | 63 | −1 |
| 49 | 19.8 | 9.5 | 62 | ±0 | 17 | 19.9 | 1.9 | 63 | −1 |

feuchten Thermometers geringer, also auch die Psychrometerdifferenz kleiner. Der verringerten Psychrometerdifferenz entspricht dann eine zu große relative Feuchtigkeit. Dies ist bei den Messungen um 18.22, 18.23 und 18.59 Uhr der Fall. Um 18.26 Uhr habe ich mit ungenügender Wartezeit abgelesen, so daß sich der Gleichgewichtszustand noch nicht eingestellt hatte.

Vor den Messungen der Tabelle 7 hatte ich Calciumchlorid auf den Tisch ausgestreut. Es blieb auch noch während der Messungen wirksam und verringerte hier

Tabelle 7.

| Z | τ | Bh | r | D | Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14.00 | 19.0 | 0.6 | 61 | ±0 | 14.25 | 19.3 | 13.7 | 60 | −3 |
| 02 | 19.0 | 7.2 | 61 | −1 | 28 | 19.4 | 13.4 | 60 | −3 |
| 04 | 19.0 | 8.0 | 61 | ±0 | 30 | 19.4 | 17.5 | 59 | ±0 |
| 08 | 19.1 | 7.4 | 61 | −1 | 33 | 19.4 | 19.1 | 59 | ±0 |
| 12 | 19.1 | 8.3 | 61 | −1 | 37 | 19.6 | 17.2 | 59 | −2 |
| 13 | 19.1 | 9.5 | 61 | ±0 | 39 | 19.6 | 18.6 | 58 | +1 |
| 17 | 19.2 | 9.8 | 60 | +2 | 42 | 19.6 | 21.4 | 58 | +2 |
| 20 | 19.3 | 12.7 | 60 | ±0 | 44 | 19.6 | 18.4 | 59 | −2 |
| 22 | 19.3 | 13.7 | 60 | −2 | 50 | 19.7 | 15.3 | 59 | +2 |
| 23 | 19.3 | 11.7 | 59 | ±0 | | | | | |

weiterhin die Luftfeuchtigkeit. Diese Abnahme der Luftfeuchtigkeit kommt in den Angaben beider Psychrometer zum Ausdruck, obwohl sie nur ungefähr 3% beträgt.

Die Meßgenauigkeit der Tabelle 8 ist recht befriedigend. Von 38 Messungen des beheizten Aßmann weichen nur mehr 5 um mehr als ± 2% von den entsprechenden Angaben des unbeheizten Aßmann ab.

Tabelle 8.

| Z | τ | Bh | r | D | Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17.24 | 19.2 | 13.9 | 64 | +2 | 18.04 | 19.9 | 8.3 | 63 | ±0 |
| 26 | 19.2 | 17.9 | 62 | +2 | 05 | 20.0 | 7.1 | 62 | ±0 |
| 28 | 19.2 | 20.3 | 64 | ±0 | 07 | 20.0 | 8.0 | 62 | ±0 |
| 30 | 19.2 | 18.8 | 64 | ±0 | 09 | 20.0 | 9.4 | 63 | +1 |
| 32 | 19.2 | 20.1 | 64 | +1 | 11 | 20.0 | 10.0 | 63 | ±0 |
| 33 | 19,4 | 20.7 | 64 | +1 | 13 | 20.0 | 10.8 | 63 | +1 |
| 40 | 19.7 | 18.9 | 63 | −1 | 15 | 20.0 | 11.0 | 63 | ±0 |
| 42 | 19.7 | 17.3 | 63 | −1 | 17 | 20.0 | 13.0 | 63 | ±0 |
| 44 | 19.7 | 19.3 | 63 | +1 | 21 | 20.1 | 14.9 | 64 | −3 |
| 46 | 19.7 | 20.1 | 63 | ±0 | 23 | 20.1 | 18.4 | 63 | −1 |
| 47 | 19,7 | 15.3 | 63 | +2 | 25 | 20.1 | 16.9 | 63 | −2 |
| 48 | 19.7 | 13.3 | 63 | +5 | 27 | 20.1 | 19.0 | 64 | ±0 |
| 50 | 19.7 | 12,3 | 63 | +4 | 28 | 20.1 | 19.4 | 63 | +1 |
| 52 | 19.7 | 15,3 | 63 | +1 | 31 | 20.1 | 20.8 | 63 | +3 |
| 54 | 19.7 | 10.3 | 63 | +1 | 35 | 20.1 | 19.0 | 63 | +1 |
| 56 | 19,9 | 9.5 | 63 | ±0 | 37 | 30.1 | 18.6 | 63 | ±0 |
| 58 | 19,9 | 8.7 | 63 | +1 | 39 | 20.1 | 16.7 | 63 | −3 |
| 18 00 | 19.9 | 8,6 | 63 | +1 | 41 | 20.1 | 17.8 | 63 | +1 |
| 02 | 19.9 | 9.1 | 63 | +1 | | | | | |

Nach diesem guten Ergebnis wurden die Messungen im Freien, auf dem Dach des Meteorologischen Institutes der Universität Berlin, fortgesetzt. Die Versuchsanordnung blieb unverändert.

Bei den Messungen der Tabelle 9 unterlief mir eine Unachtsamkeit. Ich hatte nämlich das unbeheizte Aßmannsche Aspirationspsychrometer in der Nähe eines Regenmessers befestigt. Die Abweichung der Ergebnisse

beider Psychrometer betragen mit einer ziemlichen Konstanz ungefähr 4%, was für die Genauigkeit der Messungen mit dem beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer spricht. Der unbeheizte Aßmann wurde dar-

Tabelle 9.

| Z | τ | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|
| 11.38 | 20.8 | 1.2 | 41 | +3 |
| 40 | 20.4 | 3.2 | 42 | −4 |
| 43 | 20.4 | 4.6 | 41 | −4 |
| 45 | 21.0 | 5.0 | 38 | −4 |
| 12.05 | 23.0 | 10.5 | 36 | −5 |
| 07 | 22.8 | 11.2 | 35 | −4 |
| 09 | 23.2 | 11.8 | 35 | −5 |
| 11 | 22.8 | 8.7 | 35 | −1 |
| 13 | 22.8 | 10.0 | 36 | −3 |

auf unmittelbar in die Nähe des beheizten Aßmann gebracht, nur wurde er etwas tiefer aufgehängt, um störende Einflüsse des Heizwiderstandes zu vermeiden.

Bei den folgenden Messungen, die in Tabelle 10 wiedergegeben sind, achtete ich von 15.28 Uhr an ganz besonders genau auf eine richtige Befeuchtung. Es zeigt sich auch hier wieder, daß die vorschriftsmäßige Befeuchtung eine wesentliche Voraussetzung für eine ausreichende Meßgenauigkeit ist. Von den 71 Messungen weichen 5 Messungen um 5% und mehr von dem jeweiligen Meßwert des unbeheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometers ab, 6 Messungen um 4% und 7 Messungen um 3%. Davon fallen im ganzen auf die Messungen, die nach 15.28 Uhr gemacht wurden, nur 5 Messungen, die um 3% und mehr abweichen. Man erkennt, daß die Ergebnisse des beheizten und unbeheizten Psychrometers seit der genaueren Kontrolle der Befeuchtung wesentlich besser übereinstimmen.

Bei richtiger Handhabung des beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometers darf nach den vorhergehenden

Tabelle 10.

| Z | t | Bh | r | D | Z | t | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 27 | 22.2 | 6.8 | 34 | +1 | 15.41 | 24.8 | 12.4 | 28 | ±0 |
| 29 | 22.7 | 8.5 | 33 | +4 | 43 | 24.5 | 15.1 | 27 | ±0 |
| 31 | 22.6 | 8.4 | 34 | +1 | 45 | 24.0 | 14.1 | 27 | +2 |
| 35 | 24.2 | 10.6 | 33 | +2 | 47 | 24.0 | 14.0 | 27 | +2 |
| 37 | 24.6 | 10.5 | 33 | −4 | 49 | 24.8 | 11.7 | 27 | +1 |
| 45 | 24.0 | 9.2 | 33 | −2 | 51 | 24.5 | 12.0 | 26 | +1 |
| 47 | 24.4 | 9.3 | 32 | −2 | 53 | 24.5 | 13.7 | 26 | +1 |
| 49 | 24.6 | 10.4 | 31 | −1 | 55 | 25.3 | 8.2 | 26 | +1 |
| 51 | 23.0 | 9.0 | 32 | ±0 | 57 | 25.6 | 4.9 | 25 | +1 |
| 53 | 23.3 | 6.7 | 32 | +1 | 59 | 25.1 | 4.4 | 25 | −1 |
| 55 | 24.2 | 9.8 | 30 | +3 | 16.00 | 25.2 | 3.8 | 26 | −2 |
| 57 | 23.8 | 9.6 | 31 | ±0 | 14 | 24.4 | 3.8 | 26 | −2 |
| 59 | 24.2 | 11.3 | 30 | ±0 | 15 | 23.8 | 3.6 | 26 | −2 |
| 13.06 | 23.6 | 12.4 | 30 | +1 | 17 | 23.8 | 5.2 | 26 | ±0 |
| 08 | 24.0 | 14.9 | 30 | +3 | 19 | 23 6 | 6 7 | 27 | +1 |
| 10 | 23.4 | 14.3 | 29 | −5 | 21 | 24.7 | 9.9 | 25 | −4 |
| 12 | 22.6 | 7.8 | 28 | +4 | 23 | 25.3 | 9.5 | 26 | −2 |
| 14 | 22.5 | 8.5 | 29 | +3 | 24 | 24.6 | 10.6 | 24 | ±0 |
| 16 | 22.8 | 8.5 | 32 | +1 | 26 | 24.6 | 7.8 | 24 | +2 |
| 18 | 22.8 | 8.5 | 32 | −1 | 27 | 24.6 | 7.4 | 24 | ±0 |
| 20 | 23.2 | 8.8 | 31 | +4 | 28 | 24.8 | 10.6 | 24 | +1 |
| 21 | 23.8 | 12.2 | 31 | −7 | 29 | 24.8 | 7.2 | 24 | +1 |
| 23 | 23.2 | 10.0 | 31 | −5 | 31 | 25.1 | 7.9 | 25 | +2 |
| 25 | 22.8 | 9.3 | 32 | −5 | 32 | 25.2 | 9.4 | 25 | +1 |
| 35 | 24.0 | 11.0 | 30 | +2 | 33 | 24.4 | 8.8 | 25 | +1 |
| 36 | 24.4 | 15.1 | 30 | +1 | 35 | 24.6 | 10.2 | 24 | +1 |
| 37 | 23.5 | 14.5 | 30 | −1 | 36 | 25.6 | 13.4 | 25 | +1 |
| 39 | 23.8 | 13.0 | 30 | −1 | 37 | 25.6 | 11.4 | 25 | −1 |
| 42 | 23.8 | 8.2 | 30 | +3 | 38 | 25.3 | 9.7 | 25 | −5 |
| 44 | 24.8 | 12.2 | 29 | +3 | 39 | 24.4 | 8.8 | 25 | −2 |
| 46 | 25.0 | 9.2 | 30 | ±0 | 40 | 24.4 | 14.6 | 26 | +1 |
| 15.28 | 24.6 | 10.4 | 27 | +2 | 41 | 25.0 | 12.0 | 26 | ±0 |
| 30 | 24.6 | 13.5 | 28 | +3 | 43 | 24.8 | 8.7 | 27 | −1 |
| 32 | 24.8 | 13.2 | 27 | +4 | 45 | 24.6 | 9.4 | 26 | ±0 |
| 34 | 24.6 | 12.4 | 28 | +3 | 47 | 25.6 | 12.9 | 25 | +1 |
| 36 | 24.3 | 11.9 | 28 | +2 | | | | | |

Messungen eine recht befriedigende Genauigkeit als erwiesen gelten. Das Wetter war an dem Tage, an dem die Messungen der Tabellen 9 und 10 durchgeführt wurden,

durchaus schön; der Himmel war zeitweise mit Schönwettercumuli bedeckt. Gegen Abend nahm diese Bedeckung jedoch wieder stärker ab. Es war ein kräftiger Wind vorhanden. Durch diesen Wind lassen sich die Temperaturschwankungen des beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometers erklären während der kurzen Zeit, die zwischen zwei Messungen lag. Ein kräftiger Windstoß konnte die Temperatur um einige Grade Celsius herunterdrücken, da er einen Teil der erwärmten Luft fortführte. Ehe ich die Messungen durchführte, prüfte ich, ob die Beheizung der beiden Thermometer annähernd gleich war. Das zu befeuchtende Thermometer war noch trocken, aber schon mit der Mousselinehülle umgeben. Die Thermometer stimmten trotz der starken Temperaturschwankungen bis auf 0,1° C überein. Bei einem kräftigen Windstoß nahmen die Temperaturen beider Thermometer gleichmäßig ab. Bei befeuchteter Mousselinehülle kann das (feuchte) Thermometer den Temperaturschwankungen jedoch nicht schnell genug folgen, so daß die hiermit erhöhte Trägheit zu Fehlern in der Bestimmung der Psychrometerdifferenz führt.

Auch die Messungen der Tabelle 11 wurden auf dem Dach des Meteorologischen Institutes ausgeführt, und zwar kurz nach einem Regen. Die Meßgenauigkeit hat sich hierbei wieder verschlechtert. Von den 38 Messungen weichen 6 um 5% und mehr, 6 um 4% und 5 um 3% von den Vergleichsmessungen ab. Auch an diesem Tage herrschte ein kräftiger Wind, der wohl die Ursache der Ungenauigkeit der Messungen sein dürfte.

Um auch noch Messungen in Nebelluft auszuführen, ging ich mit meinen Geräten in ein Russisch-römisches Dampfbad. Leider war die mir zur Verfügung gestellte Zeit dort sehr beschränkt, so daß ich nur wenige Messungen durchführen konnte. Zunächst mußte ich erst warten, bis sich die Apparate angewärmt hatten. Das

Tabelle 11.

| Z | t | Bh | r | D | Z | t | Bh | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10.25 | 15.2 | 7.7 | 82 | — 6 | 11.05 | 15.7 | 7.3 | 78 | — 1 |
| 26 | 15.2 | 3.6 | 82 | — 4 | 07 | 15.4 | 10.2 | 80 | ± 0 |
| 28 | 15 4 | 4.1 | 80 | — 1 | 08 | 15.4 | 10.4 | 80 | + 1 |
| 30 | 15.5 | 8.7 | 80 | + 2 | 10 | 15.3 | 11.7 | 79 | ± 0 |
| 32 | 15.6 | 6.4 | 81 | — 1 | 18 | 15.1 | 5.8 | 81 | — 7 |
| 34 | 15.4 | 8.7 | 81 | — 2 | 19 | 15.0 | 5.5 | 82 | — 5 |
| 36 | 15.4 | 9.7 | 80 | ± 0 | 21 | 15.0 | 7.9 | 82 | — 1 |
| 37 | 15.4 | 14.6 | 81 | + 4 | 23 | 15.1 | 7.4 | 81 | — 2 |
| 38 | 15.5 | 18.5 | 79 | — 4 | 25 | 15.2 | 8.8 | 80 | — 3 |
| 43 | 15.4 | 6.9 | 80 | — 3 | 26 | 15.2 | 7.6 | 81 | — 4 |
| 10.45 | 15.4 | 7.5 | 80 | — 3 | 28 | 15.1 | 11.5 | 81 | — 3 |
| 47 | 15.4 | 8.7 | 81 | + 1 | 30 | 15.2 | 16.8 | 81 | — 6 |
| 49 | 15.6 | 11.5 | 80 | ± 0 | 32 | 15.3 | 3.9 | 81 | — 7 |
| 51 | 15.6 | 12.4 | 80 | ± 0 | 34 | 15.3 | 8.5 | 81 | ± 0 |
| 53 | 15.7 | 10.9 | 80 | ± 0 | 35 | 15.4 | 9.8 | 80 | — 1 |
| 55 | 15.6 | 10.4 | 79 | — 2 | 37 | 15.4 | 12.1 | 80 | — 4 |
| 56 | 15.9 | 15.1 | 78 | + 0 | 38 | 15.3 | 10.9 | 81 | — 7 |
| 57 | 16.0 | 12.6 | 76 | — 3 | 40 | 15.3 | 7.4 | 80 | + 2 |
| 11.04 | 15.8 | 7.2 | 79 | — 4 | 42 | 15.2 | 10.8 | 80 | + 1 |

ungeheizte Aßmannsche Aspirationspsychrometer beschlug sich anfangs. Da die Gradeinteilung der Aßmannschen Aspirationspsychrometer nur bis 42° C geht, mußten die darüberliegenden Werte geschätzt werden, was zu einer gewissen Unsicherheit führte.

Ob die in Tabelle 12 zum Ausdruck kommende Übersättigung der Wirklichkeit entspricht, läßt sich leider nicht mit Bestimmtheit sagen, da sie innerhalb der Fehlergrenzen liegt.

Tabelle 12.

| t | f | e | r | T | F | e, | R | τ | E |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41.8 | 41.8 | 60.9 | 100 | 42.6 | 42.0 | 61.2 | 100.5 | 41.8 | 60.9 |
| 41.8 | 41.8 | 60.9 | 100 | 44.0 | 42.2 | 61.3 | 100.6 | 41.8 | 60.9 |
| 41.8 | 41.8 | 60.9 | 100 | 43.0 | 42.1 | 61.4 | 100.8 | 41.8 | 60.9 |

Es wurde gerade in den Raum Dampf eingelassen, so daß es allerdings sehr gut möglich war, daß R dadurch über 100% hinausging; daß durch die Erhitzung ein Teil der Nebeltropfen verdampft wurde. Da die Psychrometertafel nicht weiter als bis zu 39,9° C geht, habe ich die Werte der Tabelle 12 nach der Sprungschen Formel berechnet:

$$e = E' - {}^1/_2 (t - t') \cdot \frac{b}{755}$$

Ich nahm b zu 755 mm an. E′ konnte ich aus den Tabellen entnehmen.

Nach allen Ergebnissen, die ich erhalten habe, ist somit die Genauigkeit der Messungen auch dann recht befriedigend, wenn man die vom Aßmannschen Aspirationspsychrometer angesaugte Luft vorher beheizt. Der Fehler, der jetzt noch immer durch die angesaugte (veränderliche) Mischluft verursacht wird, kann noch verkleinert werden, wenn man den Beheizungskörper unmittelbar an das Psychrometer anbaut.

Trotz meines primitiveren Beheizungsapparates komme ich zu demselben Ergebnis wie H. Köhler, daß man die Fehlergrenze innerhalb $\pm$ 2% halten kann. Die Einführung einer neuen Formel, wie H. Köhler sie vorschlägt, scheint mir jedoch nicht notwendig zu sein, denn ich erhalte mit den Werten der Aspirationspsychrometertafel annähernd die gleiche Genauigkeit wie H. Köhler.

Man darf nämlich nicht vergessen, daß das Aßmannsche Aspirationspsychrometer auch nur auf 1% genau mißt, man also nie eine bessere Übereinstimmung als $\pm$ 2% verlangen kann bei Vergleichsmessungen mit dem Aßmann.

Dies gilt auch für die nachstehenden Messungen mit dem Multizellularelement.

# IV. Feuchtigkeitsmessungen mit dem beheizten Multizellular-Thermo-Element von Lange

**a) Beschreibung des Multizellular-Thermoelementes:**

Da das beheizte Aßmannsche Aspirationspsychrometer infolge ungenügender Ablesegenauigkeit bei niedrigen Temperaturen, also bei geringen Dampfspannungen, versagen muß, entwickelte ich ein neues Gerät auf thermoelektrischer Grundlage, das eine ausreichende Feinablesung ermöglicht. Denn ich legte besonders Wert darauf, die Anwendungsmöglichkeit der psychrometrischen Feuchtigkeitsmessung auch auf tiefe Temperaturen auszudehnen, da ja bei der thermischen Transformation des Luftkörpers die Vereisungsgefahr für das feuchte Thermometer wegfällt. Das von mir entwickelte thermoelektrische Psychrometer baute ich auf dem Multizellular-Thermoelement von B. Lange auf, das folgende Eigenschaften hat.

Eine auf einem Porzellankern aufgewickelte Konstantanspule wird in ihren Windungen zur Hälfte silberlegiert. Da eine solche Spule hundert Windungen hat, entstehen so hundert kleine, hintereinandergeschaltete Thermoelemente. Der grundsätzliche Unterschied gegenüber den üblichen Thermoelementen besteht darin, daß die Lötstellen fortfallen, weil ein und derselbe dünne Draht nur eine verschiedene chemische Behandlung erfahren hat. Ein Vorteil dieser Zelle ist weiterhin sein geringer Raumanspruch, trotz der großen Zahl der wirksamen Elemente. Die Dimension einer solchen Spule ist von der Größe $1{,}5 \times 1{,}0 \times 0{,}5$ cm³. Abbildung 2 veranschaulicht ein solches Multizellularelement.

Es sei hier nochmals erwähnt, daß Thermoelemente bereits für die Feuchtigkeitsmessungen verwendet worden

sind. So bauten Hartmann & Braun Feuchtigkeitsmesser, bei denen Thermoelemente, die hintereinandergeschaltet waren, in ihren gleichsinnigen Lötstellen in je einer Umhüllung vereinigt wurden[9]). Als Dauerregistrierinstrumente (Fernpsychrometer) werden auch häufig Widerstandsthermometer verwendet[10]). Besonders das von Siemens & Halske gebaute Fernpsychrometer nach Constanz-Schmidt findet in der Literatur häufig

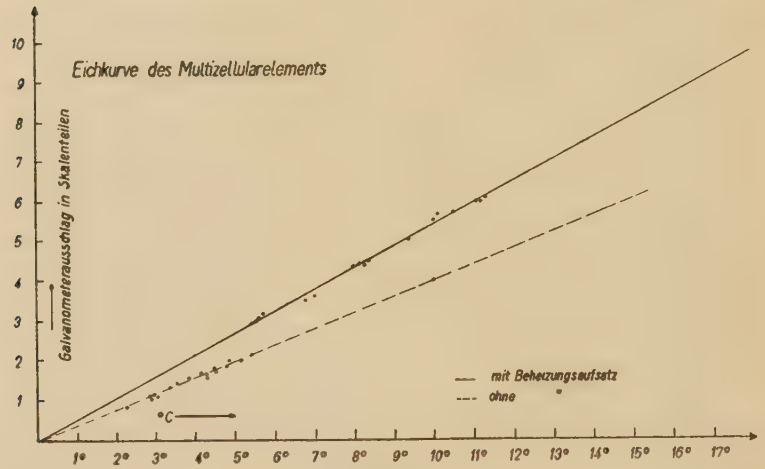


Abbildung 2

Erwähnung. Ferner wurden elektrothermische Fernpsychrometer von den Firmen Keiser & Schmidt und der Brown Instrument Company hergestellt. L. Behr beschrieb in einer Abhandlung einen Feuchtigkeitsmesser mit Widerstandsthermometern, der eine sehr große Genauigkeit erzielen soll[11]). Das Prinzip aller dieser Appa-

[9]) H. Bongards: Feuchtigkeitsmessungen. S. 192.

[10]) A. Gramberg: Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und im Betriebe. S. 200.

[11]) W. Keil: Referat über die Arbeit von L. Behr: ZS. f. Instrumentenkunde 1927. S. 162.

rate ist immer das gleiche: die Psychrometerdifferenz auf elektrischem Wege durch zwei (feuchte und trockene) temperaturempfindliche Elemente zu bestimmen.

In der Meteorologie sind bis jetzt vorwiegend nur Haarhygrometer, Aspirationspsychrometer und Kondensationshygrometer zur Feuchtigkeitsbestimmung verwendet worden.

Die Kosten des einmalig hergestellten Multizellular-Aspirationspsychrometers beliefen sich auf ca. RM 70,—, ohne die hierfür erforderlichen elektrischen Strommesser. Es liegt also im Preisbereich der üblichen Instrumente.

**b) Versuchsanordnung:**

Entsprechend dem Prinzip aller Psychrometer wurde auch hier mit einer trockenen und einer befeuchteten Seite gearbeitet. Zu dem Zweck wurde über die den Lötstellen des einen Vorzeichens entsprechende Trennlinie in der oberflächlichen chemischen Behandlung der Drähte ein feiner Mullbelag aufgespannt. Dann wurde dieses Multizellular-Thermoelement in eine Röhre eingebaut, und zwar so, daß es in deren Mitte fest und vertikal stand. Hierauf war besonders zu achten, weil ein Schiefstehen Abweichungen der Messungen zur Folge haben mußte.

Es sei hier noch hervorgehoben, daß eine Scheidewand zwischen trockener und feuchter Seite nicht eingebaut worden war, weil die vorgeschriebene Windgeschwindigkeit groß genug sein mußte, um ein Übertreten der Luft der feuchten auf die trockene Seite zu verhindern. Das die Thermozelle enthaltende Rohr wurde auf einen Ventilator aufgesetzt, den eine 4-Volt-Batterie antrieb. Er erzeugte eine sehr regelmäßige Windgeschwindigkeit. Ferner wurde in ein zweites Rohr, das auf das erste aufgesetzt werden konnte, ein elektrischer Heizwiderstand eingebaut. Auf der trockenen und auf der angefeuchteten Seite des Multizellular-Thermoelements strich demnach dieselbe Luft unter gleichen Bedingungen vorbei. Hier-

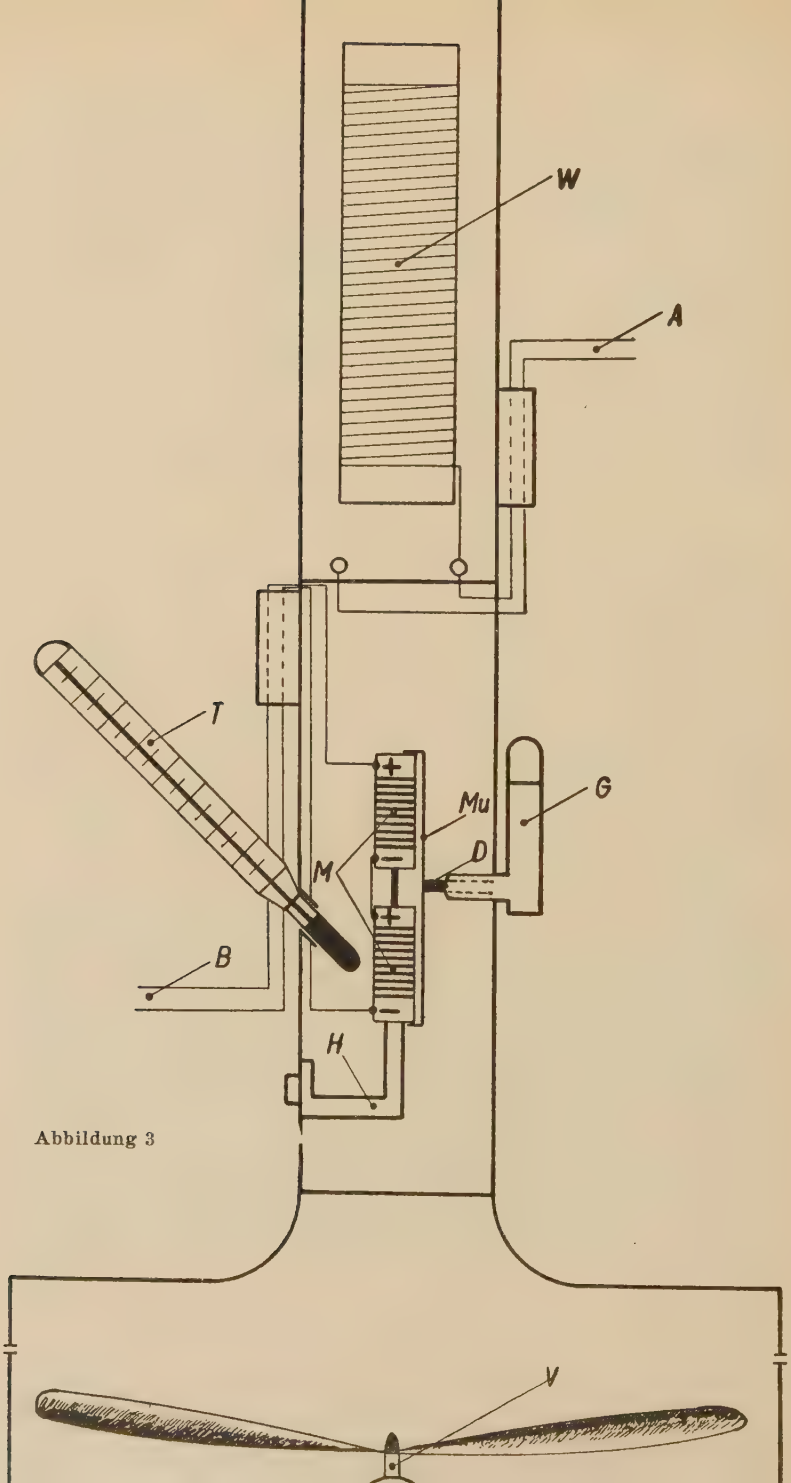


Abbildung 3

Abbildung 4

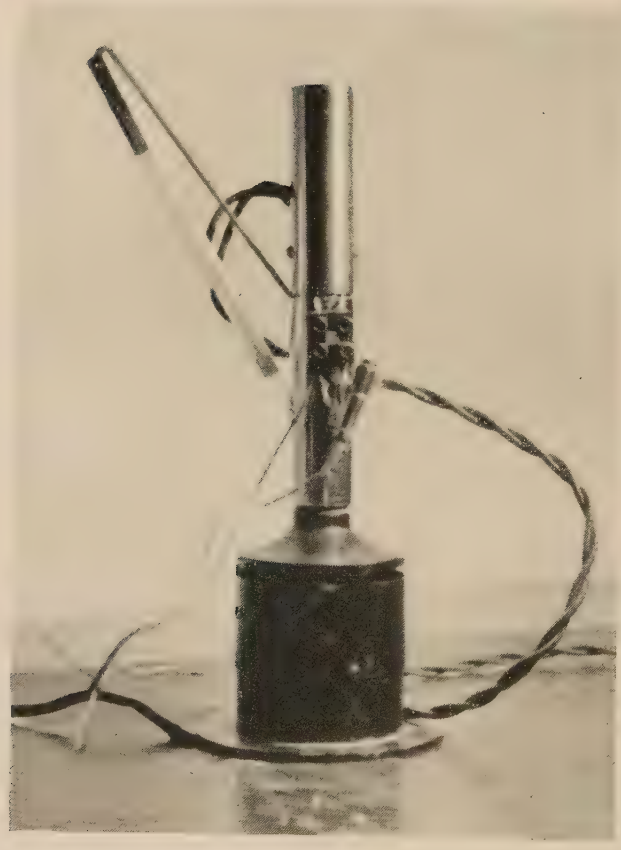

Abbildung 5

mit dürfte eine Fehlerquelle, die bei dem beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer noch beträchtlich hervortrat, erheblich verringert worden sein. Der Mullbelag wird von außen her mittels eines Dochtes fortlaufend befeuchtet, der aus einem kleinen Gefäß Wasser ansaugt. Infolgedessen ist die Befeuchtung immer gleichmäßig. Der Heizwiderstand wurde an das 220-Volt-Netz angeschlossen. Durch Vorschalten von Glühlampen (25 oder 40 Watt) ließ sich der Grad der Beheizung regeln. Die Temperatur der angeheizten Luft konnte an einem Thermometer abgelesen werden, das auf der trockenen Seite eingelassen war.

Die endgültige Versuchsanordnung war also folgende. Der Ventilator als Basis des Meßgerätes. Ein hierauf aufgesetztes Rohr mit dem Multizellularelement. Ein in die trockene Seite hineintauchendes, von außen ablesbares Thermometer. Schließlich ein auf das erste Rohr aufgesetztes zweites Rohr mit dem Heizwiderstand. Beide Rohre waren blankpoliert als Schutz gegen einen Strahlungseinfluß von außen. Die Abbildung 3 veranschaulicht diesen Aufbau in einem Querschnitt (der maßstabsgetreu ist). Abbildung 4 gibt eine Aufsicht auf den Apparat ohne Beheizungsrohr und Abbildung 5 mit Beheizugsrohr wieder.

Hierin bedeutet:

A: Leitung zur 220-Volt-Steckdose.
B: Leitung zum Meßgerät.
D: Docht.
G: Gefäß, aus dem der Docht seine Feuchtigkeit erhält.
H: Halter des Multizellularelementes.
M: Multizellularelemente.
Mu: Mullbelag.
T: Thermometer.
V: Ventilator.
W: Heizwiderstand.

Die die Temperaturdifferenz umschreibende elektrische Stromgröße der Multizellulare wurde an einem Multiflexgalvanometer nach B. Lange abgelesen, dessen Empfindlichkeit $10^{-8}$ Ampere pro Skalenteil beträgt. Um den Einfluß möglicher Induktionsströme auszuschalten, wurde das Galvanometer in der Polung der Meßleitung kommutiert und das arithmetische Mittel aus den Zeigerausschlägen der beiden (entgegengesetzten) Polungen als Meßwert bestimmt.

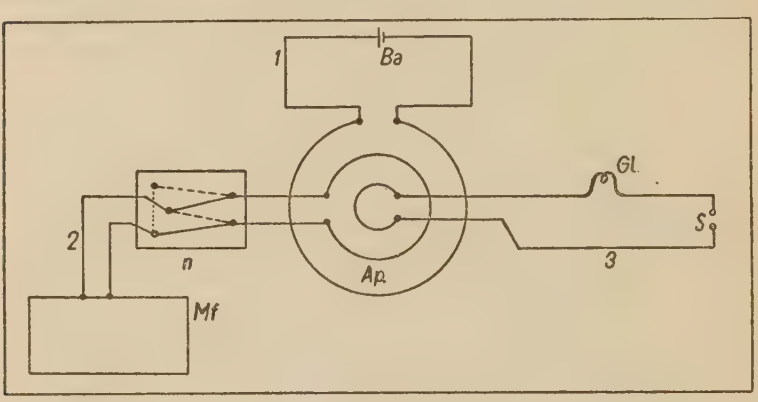


Abbildung 6

Abbildung 6 zeigt die Versuchsanordnung und die elektrischen Stromführungen.

Es ist:

1: Anschluß des Ventilators.
2: Kreislauf des Thermostromes.
3: Anschluß des Heizwiderstandes.
Ba: 4-Volt-Batterie.
U: Umpoler.
Mf: Multiflexgalvanometer.
Gl: Glühbirne (= Vorschaltwiderstand).
S: 220-Volt-Stecker.
Ap: Aspirationspsychrometer.

Ehe ich nun zu der Betrachtung der eigentlichen Messungen übergehe, möchte ich die zeitliche Entwicklung darstellen, die zu der endgültigen Versuchsanordnung führte. Zu Beginn meiner Versuche arbeitete ich mit dem Multizellularelement in der Form, wie sie handelsüblich von der Firma Dr. B. Lange geliefert wurde. Hierbei liegt infolge eines Spezialzwecks die eine temperaturempfindliche Seite hohl, während die Drähte der anderen temperaturempfindlichen Seite auf dem Porzellankern aufliegen. Für den vorliegenden Zweck war das äußerst ungünstig, weil die hohlliegende Seite fast gar nicht, die andere dagegen sehr träge war. Das trat besonders stark bei der Anheizung der Luft in Erscheinung. Die angefeuchtete Seite, die der hohlliegenden entsprach, stellte sich sofort auf die Temperatur des Mullbelages ein, die trockene Seite erwärmte sich dagegen sehr langsam, nämlich in dem Maße, wie sich der ganze Porzellankern erhitzte. Die Folge hiervon war, daß der Ausschlag am Galvanometer zunächst abnahm, um dann später wieder anzusteigen. Es dauerte immer recht lange, bis sich das Instrument endgültig eingestellt hatte. Kleine Temperaturschwankungen, die ja bei der Beheizung vorkommen, wurden nur von der angefeuchteten Seite erfaßt, was eine wesentliche Fehlerquelle ergab. Ehe ich nun meine Messungen fortsetzte, ließ ich bei der Firma Dr. B. Lange für meine Versuche Multizellularelemente herstellen, die auf beiden Seiten hohlgeschliffen waren. Um den Galvanometerausschlag und somit die Meßempfindlichkeit zu vergrößern, verwendete ich jetzt zwei Multizellular-Thermoelemente in Reihenschaltung.

Die Temperatur der an der trockenen Seite vorbeistreichenden Luft wurde zunächst mit einem gewöhnlichen Thermoelement gemessen. Da aber das hierfür verwendete AEG.-Galvanometer wenig empfindlich war, nämlich $2{,}5 \cdot 10^{-7}$ Ampere pro Skalenteil, so daß schon $^1/_{10}$ Skalenteil einem Temperaturunterschied von 0,4° C

entsprach, erwies sich diese Temperaturbestimmung als ungenügend. Sie verschlechterte die Resultate erheblich. Es wurde deshalb in bereits oben dargestellter Weise von der Seite her ein Thermometer eingeführt, an dem man die Temperatur der trockenen Seite unmittelbar ablesen konnte. Dies hatte an sich einen Vorteil. Um möglichst entsprechende Werte zu bekommen, muß man alle Ablesungen möglichst gleichzeitig, d. h. also so schnell als möglich nacheinander durchführen. Bei der Benutzung des Thermoelements waren zwei Ablesungen erforderlich, die der Temperaturdifferenz und die der Temperatur der in ein Ölbad getauchten anderen Lötstelle. Beide Ablesungen wurden jetzt durch die unmittelbare e i n e Temperaturablesung ersetzt. Aber ein sehr großer Nachteil darf nicht unerwähnt bleiben. Das Thermoelement war nicht träge; bei dem Thermometer war dies nicht mehr der Fall. Der geringen Trägheit des Multizellularelementes hätte daher ein Thermoelement zur Temperaturbestimmung besser entsprochen. Aber hierauf mußte in Anbetracht des Fehlens eines zweiten Galvanometers ausreichender Empfindlichkeit verzichtet werden. Aus diesem Grunde mußte ich dann auch davon absehen, Versuche mit dem neuen Gerät bei sehr kleinen Dampfspannungen, also bei tiefen Temperaturen, durchzuführen. Denn hierfür war die Temperaturbestimmung durch das Quecksilberthermometer viel zu ungenau. Aber auch hier kam es mir zunächst nur darauf an, die Brauchbarkeit dieses Weges nachzuweisen. Daß man die Meßgenauigkeit nach dem heutigen Stande der Technik ganz wesentlich erhöhen kann, bedarf wohl keines besonderen Hinweises. Es ist somit nur eine Instrumentenfrage, das hier beschriebene Gerät auch für die psychrometrische Feuchtigkeitsmessung bei tiefen Temperaturen brauchbar zu machen.

### c) Eichung des Multizellular-Thermoelementes:

Vor Beginn der Messung machte die Eichung des Multizellularelementes Schwierigkeiten. Es war nicht möglich, die Temperatur der einen Seite konstant zu halten, und dann die andere Seite um einen konstanten Betrag zu erhitzen. Deshalb wurde zunächst aus Messungen mit dem Aßmannschen Aspirationspsychrometer die Temperaturdifferenz zwischen trockner und feuchter Seite ermittelt. Diese wurden dann dem Ausschlag des Multiflexgalvanometers verhältnisgleich gesetzt. Da es aber sehr schwierig war, solche Werte über ein großes Intervall zu bekommen, wurde das Instrument dann auch noch bei gleichzeitiger Erhitzung geeicht. Der im Raum vorhandene Dampfdruck wurde mit einem Aßmannschen Aspirationspsychrometer gemessen. Gleichzeitig wurde die Temperatur der erhitzten Luft und der Ausschlag des Galvanometers abgelesen. Aus den Angaben der Psychrometertafeln geht dann mittelbar hervor, welche Temperatur auf der feuchten Seite des Multizellularelementes bestehen muß, um den gegebenen Dampfdruck zu erhalten. Der Ausschlag des Multiflexgalvanometers entspricht dann dieser Temperaturdifferenz, mal einem noch zu ermittelnden konstanten Faktor.

Will man das Gerät ohne Beheizungsaufsatz eichen, dann muß man hierbei nach der ersten Methode vorgehen. Der Temperaturbereich ist nicht sehr groß; er kann aber durch Änderung der relativen Feuchtigkeit variiert werden.

Ich führte beide Eichungen durch. Wie man sieht, weichen sie voneinander ab. Dies läßt sich wohl aus der verschiedenen Windgeschwindigkeit erklären, die wiederum eine Folge des verschiedenen Querschnitts ist. Beide Eichkurven sind im Abbildung 7 veranschaulicht.

Die Streuung der Eichwerte ist für diese doch immerhin etwas unsichere Methode nicht sehr groß. Man darf

nicht vergessen, daß auch beim Aßmannschen Aspirationspsychrometer Fehlmessungen nicht ausgeschlossen sind. Denn schon ein zu dichtes Herantreten des Beobachters verfälscht hier die Messung. Alle Werte sind den Aspirationspsychrometertafeln entnommen worden, die bekanntlich auf der Sprungschen Formel aufgebaut sind. In dieser tritt eine Apparatskonstante auf. Meine Befürchtung, daß die Konstante meines Apparates sehr stark von jener abweichen könnte, bestätigte sich nicht, wie die Meßergebnisse zeigen.

Abbildung 7

### d) Die Meßergebnisse:

Die mir gestellte, infolge des Fehlens eines weiteren hochempfindlichen Galvanometers leider beschränkte Aufgabe war, nachzuweisen:

1. daß sich das Multizellular-Thermoelement für Feuchtigkeitsmessungen eignet;
2. daß man mit ihm, auch bei Beheizung der angesaugten Luft, eine befriedigende Genauigkeit erreichen kann.

Ich führte meine ersten Messungen wieder in dem vorher benutzten abgeschlossenen Raume des Meteorologischen Institutes der Universität aus. Die Messungen wurden gleichzeitig sowohl mit dem Multizellular-Aspirationspsychrometer wie mit dem Aßmannschen Aspirationspsychrometer durchgeführt. Die mit dem unbeheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer gemachten Messungen dienten wieder zur Kontrolle der mit dem neuen thermoelektrischen Gerät erhaltenen Ergebnisse. Zuerst prüfte ich die Meßgenauigkeit des neuen Apparates ohne Beheizung. Sie ist recht gut. Denn wie aus den Tabellen 13 und 14 hervorgeht, wird die Fehlergrenze von $\pm$ 2% nirgends überschritten. Das neue

Psychrometer ist somit für Feuchtigkeitsmessungen durchaus brauchbar.

Tabelle 13.

| t | r | M | Δt | D |
|---|---|---|---|---|
| 19.3 | 64 | 1.6 | 4.0 | +2 |
| 19.2 | 64 | 1.7 | 4.2 | +1 |
| 19.8 | 65 | 1.7 | 4.2 | ±0 |
| 19.6 | 65 | 1.7 | 4.2 | ±0 |
| 19.6 | 68 | 1.6 | 4.0 | −2 |
| 19.4 | 70 | 1.45 | 3.6 | −1 |
| 19.4 | 72 | 1.4 | 3.5 | −2 |
| 19.4 | 74 | 1.15 | 2.8 | +2 |
| 19.4 | 77 | 1.1 | 2.7 | −1 |
| 19.6 | 75 | 1.2 | 3.0 | −1 |
| 19.6 | 75 | 1.15 | 2.8 | ±0 |

Die Bedeutung der Abkürzungen in den nachstehenden Tabellen ist:

Z: Zeit

$\tau$: Zimmer- oder Außentemperatur

Bh: Betrag der Beheizung in Grad

M: Gemittelter Meßwert in Skalenteilen des Galvanometers

$\Delta$ t: Die diesem gemittelten Meßwert entsprechende Temperaturdifferenz

r: Relative Feuchtigkeit nach dem Aßmann.

D: Differenz der beiden gemessenen relativen Feuchtigkeiten, immer auf den Aßmannschen Aspirationspsychrometer bezogen.

Tabelle 13 gibt die Meßergebnisse des Apparates an, die ohne Beheizungsaufsatz durchgeführt wurden.

In Tabelle 14 sind die Meßergebnisse angegeben, die zwar ohne Beheizung, aber mit schon aufgesetztem Zusatzrohr erhalten wurden. Die Meßgenauigkeit hat gegenüber Tabelle 13 nicht abgenommen. Die in Tabelle 14

Tabelle 14.

| t | r | M | Δ t | D | t | r | M | Δ t | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18.9 | 58 | 2.55 | 4.7 | +2 | 19.4 | 72 | 1.85 | 3.4 | −1 |
| 18.9 | 58 | 2.55 | 4.7 | +2 | 18.1 | 59 | 2.5 | 4.6 | +1 |
| 19.8 | 62 | 2.3 | 4.2 | ±0 | 18.0 | 58 | 2.7 | 4.9 | −1 |
| 18.5 | 56 | 2.7 | 4.9 | +2 | 18.2 | 57 | 2.75 | 5.0 | ±0 |
| 18.5 | 56 | 2.7 | 4.9 | +2 | 18.2 | 57 | 2.75 | 5.0 | ±0 |
| 18.5 | 56 | 2.7 | 4.9 | +2 | 18.2 | 57 | 2.65 | 4.8 | +2 |
| 18.7 | 60 | 2.65 | 4.8 | −1 | 19.2 | 61 | 2.5 | 4.6 | ±0 |
| 18.8 | 59 | 2.75 | 5.0 | −2 | 19.0 | 59 | 2.75 | 4.9 | −1 |
| 19.4 | 72 | 1.8 | 3.3 | ±0 | | | | | |

Tabelle 15a.

| Z | τ | Bh | M | Δt | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 13.21 | 18.0 | 11.5 | 6.0 | 11.0 | 66 | +2 |
| 27 | 18.0 | 11.5 | 6.0 | 11.0 | 66 | +2 |
| 43 | 18.0 | 11.6 | 6.1 | 11.2 | 66 | ±0 |
| 45 | 18.0 | 11.6 | 6.1 | 11.2 | 66 | ±0 |
| 48 | 18.1 | 11.4 | 6.1 | 11.2 | 65 | ±0 |
| 51 | 18.1 | 11.2 | 6.0 | 11.0 | 65 | −1 |
| 53 | 18.2 | 11.1 | 6.0 | 11.0 | 65 | −1 |
| 57 | 18.3 | 11.2 | 5.8 | 10.7 | 72 | +3 |
| 14.10 | 18.3 | 11.6 | 5.6 | 10.3 | 79 | +3 |
| 28 | 18.2 | 11.6 | 6.0 | 11.0 | 71 | −2 |
| 43 | 18.2 | 5.8 | 3.6 | 6.6 | 71 | +3 |
| 50 | 18.2 | 5.5 | 3.5 | 6.4 | 71 | +3 |
| 54 | 18.2 | 5.5 | 3.5 | 6.4 | 71 | +3 |
| 57 | 18.2 | 5.5 | 3.5 | 6.4 | 71 | +3 |
| 15.01 | 18.3 | 5.2 | 3.4 | 6.3 | 70 | +3 |
| 31 | 18.5 | 6.0 | 3.2 | 5.9 | 84 | −2 |
| 37 | 18.5 | 6.1 | 3.0 | 5.5 | 87 | −1 |
| 40 | 18.5 | 6.1 | 3.0 | 5.5 | 86 | ±0 |
| 43 | 18.5 | 6.1 | 3.1 | 5.7 | 86 | −2 |
| 45 | 18.5 | 6.1 | 3.1 | 5.7 | 86 | −2 |
| 47 | 18.5 | 6.3 | 3.0 | 5.6 | 87 | ±0 |
| 50 | 18.5 | 6.4 | 3.0 | 5.6 | 87 | ±0 |
| 53 | 18.5 | 6.5 | 2.9 | 5.4 | 89 | +1 |
| 55 | 18.5 | 6.6 | 3.0 | 4.5 | 89 | +1 |

Tabelle 15b.

| Z | τ | Bh | M | Δt | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11.07 | 18.1 | 11.4 | 6.15 | 11.3 | 62 | +2 |
| 09 | 18.1 | 11.2 | 6.4 | 11.8 | 62 | −4 |
| 13 | 18.1 | 11.3 | 6.3 | 11.6 | 63 | −2 |
| 16 | 18.1 | 11.9 | 6.3 | 11.6 | 65 | ±0 |
| 22 | 18.1 | 11.9 | 6.1 | 11.2 | 67 | +2 |
| 24 | 18.2 | 11.8 | 5.85 | 10.8 | 69 | +3 |
| 26 | 18.1 | 12.0 | 5.85 | 10.8 | 73 | ±0 |
| 28 | 18.2 | 11.8 | 5.65 | 10.4 | 75 | +1 |
| 33 | 18.3 | 11.7 | 5.5 | 10.1 | 78 | ±0 |
| 40 | 18.3 | 11.9 | 5.55 | 10.2 | 78 | ±0 |
| 43 | 18.3 | 12.4 | 5.65 | 10.4 | 80 | ±0 |
| 48 | 18.3 | 12.5 | 5.8 | 10.6 | 78 | +1 |
| 51 | 18.3 | 12.7 | 6.0 | 11.0 | 77 | −1 |
| 12.25 | 18.4 | 11.6 | 6.05 | 11.1 | 70 | −2 |
| 28 | 18.4 | 11.4 | 6 0 | 11.0 | 70 | −2 |
| 31 | 18.4 | 11.6 | 5.95 | 10.9 | 70 | ±0 |
| 36 | 18.4 | 11.6 | 6.05 | 11.1 | 69 | −1 |
| 38 | 18.4 | 11.3 | 5.85 | 10.7 | 71 | −1 |
| 40 | 18.4 | 11.3 | 5.85 | 10.7 | 71 | −1 |
| 43 | 18.5 | 11.2 | 5.95 | 10.9 | 69 | −2 |
| 45 | 18.5 | 11.4 | 6.05 | 11.1 | 69 | −2 |
| 47 | 18.5 | 11.2 | 6.05 | 11.1 | 69 | −3 |
| 51 | 18.5 | 11.6 | 5.95 | 10.9 | 72 | −1 |
| 55 | 18.5 | 11.5 | 5.7 | 10.5 | 76 | −3 |
| 57 | 18.5 | 11.8 | 5.7 | 10.5 | 76 | ±0 |
| 13.00 | 18.6 | 11.7 | 5.6 | 10.3 | 79 | −2 |
| 03 | 18.6 | 11.8 | 5.5 | 10.1 | 81 | −2 |
| 05 | 18.6 | 11.8 | 5.35 | 9.8 | 83 | ±0 |
| 09 | 18.6 | 11.6 | 5.3 | 9.7 | 83 | −1 |
| 15 | 18.6 | 12.0 | 5.6 | 10.3 | 81 | −3 |
| 18 | 18.6 | 12.1 | 5.5 | 10.1 | 84 | −3 |
| 22 | 18.6 | 12.1 | 5.35 | 9.8 | 86 | −1 |
| 31 | 18.8 | 13.4 | 5.25 | 11.5 | 76 | +1 |
| 35 | 18.8 | 12.6 | 6.0 | 11.0 | 79 | −2 |
| 37 | 18.8 | 11.0 | 5.3 | 9.7 | 79 | −1 |
| 40 | 18.8 | 11.7 | 5.75 | 10.5 | 78 | −2 |
| 43 | 18.8 | 11.9 | 5.8 | 10.6 | 78 | −2 |

wiedergegebenen Messungen wurden nicht sämtlich am gleichen Tage durchgeführt.

Tabelle 16.

| Z | τ | Bh | M | Δt | r | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 14.25 | 14.8 | 11.6 | 5.4 | 9.9 | 72 | ±0 |
| 27 | 14.4 | 12.3 | 5.4 | 9.9 | 74 | +2 |
| 28 | 14.2 | 12.3 | 5.35 | 9.8 | 75 | +2 |
| 45 | 14.2 | 11.5 | 5.35 | 9.8 | 75 | −4 |
| 50 | 14.2 | 11.4 | 5.3 | 9.7 | 73 | −2 |
| 57 | 14.2 | 12.2 | 5.55 | 10.2 | 73 | −2 |
| 15.02 | 14.0 | 11.5 | 5.15 | 9.4 | 74 | +1 |
| 05 | 14.0 | 11.8 | 5.4 | 9.9 | 74 | +1 |
| 08 | 14.0 | 12.5 | 5.45 | 10.0 | 75 | +1 |
| 10 | 13.9 | 11.4 | 5.3 | 9.7 | 75 | −4 |
| 13 | 13.9 | 11.5 | 5.35 | 9.8 | 75 | −4 |
| 17 | 14.0 | 11.4 | 5.05 | 9.3 | 74 | +2 |
| 20 | 13.8 | 11.7 | 5.1 | 9.4 | 75 | +1 |
| 30 | 13.8 | 10.8 | 4.8 | 8.8 | 75 | +2 |
| 33 | 13.8 | 10.5 | 4.8 | 8.8 | 75 | ±0 |
| 36 | 13.7 | 10.7 | 5.0 | 9.2 | 77 | −5 |
| 38 | 13.8 | 10.7 | 5.05 | 9.3 | 75 | −5 |
| 40 | 13.7 | 10.9 | 5.35 | 9.8 | 77 | −4 |
| 43 | 13.7 | 10.7 | 4.8 | 8.8 | 77 | −1 |
| 46 | 13.7 | 10.7 | 4.7 | 8.6 | 77 | +1 |
| 50 | 13.6 | 10.4 | 4.65 | 8.5 | 78 | ±0 |
| 52 | 13.7 | 10.8 | 5.0 | 9.2 | 77 | −5 |
| 53 | 13.8 | 11.1 | 5.05 | 9.3 | 76 | −3 |
| 55 | 13.6 | 11.9 | 5.3 | 9.7 | 77 | −3 |
| 56 | 13.7 | 11.1 | 5.0 | 9.2 | 77 | −3 |
| 57 | 13.7 | 10.8 | 4.9 | 9.0 | 77 | −3 |
| 59 | 13.7 | 10.6 | 4.85 | 8.9 | 77 | −3 |
| 16.00 | 13.8 | 10.4 | 4.7 | 8.6 | 75 | +1 |
| 02 | 13.7 | 10.5 | 4.8 | 8.8 | 77 | −4 |
| 04 | 13.7 | 11.1 | 5.0 | 9.2 | 77 | −3 |
| 06 | 13.7 | 11.5 | 5.05 | 9.3 | 77 | −1 |

Im Anschluß an diese Messungen ging ich dann wieder dazu über, die angesaugte Luft zu beheizen. Hierbei wurden die Messungen zunächst noch in dem abgeschlossenen Raume fortgesetzt. Die Meßergebnisse zeigt Tabelle 15.

Die Zunahme der relativen Feuchtigkeit wurde wieder durch Verdampfen von Wasser bewirkt. Diese Meßreihe erstreckt sich über 2 Tage (a und b).

Die Abweichung der Resultate meines neuen Gerätes von denen des unbeheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometers ist hier etwas größer als wie es bei dem beheizten Aßmannschen Aspirationspsychrometer der Fall gewesen ist. Von 61 Messungen weichen 1 um 4% und 12 um 3% ab, was auf eine Meßgenauigkeit von 3% hindeutet. Diese ist aber sehr sicher. Die gleiche Fehlergrenze wird auch bei den Messungen, die dann auf dem Dache des Meteorologischen Institutes ausgeführt wurden, anzusetzen sein.

Die in Tabelle 16 wiedergegebenen Messungen wurden auf dem Dach des Meteorologischen Institutes ausgeführt. Von den 31 Messungen weichen 3 um 5% und mehr ab, 5 um 4% und 6 um 3%.

Diese relativ große Abweichung aller dieser Feuchtigkeitsmessungen dürfte auf kleinen Schwankungen beruhen, die wir ja auch in den Meßwerten $\tau$ der einzelnen Tabellen erkennen. Das Thermometer ist zu träge, um sich genügend schnell anzupassen, das Multizellularelement dagegen erfaßt jede Schwankung.

# V. Zusammenfassung

Zusammenfassend kann man sagen, daß sowohl das beheizte Aßmannsche Aspirationspsychrometer, wie auch das auf dem Multizellular-Thermoelement von B. Lange aufgebaute thermoelektrische Psychrometer sich dazu eignen, die Feuchtigkeit der übersättigten Luft und den Wassergehalt von Wolken und Nebelluft genügend genau zu bestimmen. Die Fehlergrenzen sind verhältnismäßig klein. Trotzdem wäre es wünschenswert, sie noch weiter herabzusetzen. Die Messung solcher hohen relativen Feuchtigkeiten mit diesen Geräten wird mindestens ebenso genau sein, wie Messungen nach bisherigen Methoden. Bis jetzt hatte man sie vorwiegend nur mit Haarhygrometern gemessen[12].) Die vorher angewandten chemischen Methoden waren jedenfalls noch ungenauer. Es wäre demnach mit derartigen Geräten auch möglich, in der Atmosphäre hohen Übersättigungen nachzuforschen.

Dagegen ist die bisherige Genauigkeit der Geräte noch viel zu gering, um hiermit Messungen bei Temperaturen unter 0° ausführen zu können. Eine hierfür genügende Meßgenauigkeit wäre wohl ziemlich sicher bei dem neuen thermoelektrischen Psychrometer zu erreichen. Man müßte nur darauf hinwirken, daß eine ganz homogen erwärmte Luft, die möglichst konstante Temperatur hat, an das Multizellularelement angesaugt wird. Zu diesem Zwecke wäre schon ein äußerer Filzbelag nützlich, weil er die

[12]) A. Weber: Nachweis über die Zuverlässigkeit der Haarhygrometerangaben bei relativen Feuchtigkeiten über 100%. Diss. Marburg 1912.

F. Albrecht: Das geheizte Haarhygrometer als Meßgerät des Wassergehaltes von Wolken und Nebeln.

plötzliche Abkühlung durch Wind verhindert. Als solche ist die Zelle unbedingt empfindlich genug, um sehr genaue Messungen zu ermöglichen. Nur ist es hierfür erforderlich, daß auch sämtliche Nebenmessungen von entsprechender Genauigkeit sind. Bei Messungen im Freien müßte der Filzbelag selber wieder durch ein zweites hochglanzpoliertes Rohr von außen eingehüllt werden, damit der Strahlungseinfluß ausgeschaltet wird. Man müßte vielleicht auch eine noch günstigere Form des Einbaus und Aufbaus aufsuchen.

An sich ist es fraglich, ob die Abweichungen der Meßergebnisse des thermoelektrischen Psychrometers von den Vergleichswerten, die mit dem Aßmannschen Aspirationspsychrometer festgestellt wurden, immer als ein Fehler zu betrachten sind. Man könnte sich vorstellen, daß dieses Instrument auch die kleinen kurzen Schwankungen erfaßt, auf die das Aßmannsche Aspirationspsychrometer wegen seiner Trägheit nicht ansprechen kann. Um dies feststellen zu können, müßten jedoch besondere Versuchsanordnungen getroffen werden, die aus dem Rahmen dieser Arbeit herausfallen. Ich habe deshalb bei meinen Messungen das Aßmannsche Aspirationspsychrometer vorläufig als das Standardinstrument behandelt, als das es in der Meteorologie zur Zeit gilt.

Nach Abschluß dieser Arbeit konnte ich noch einige Versuchsmessungen in dem Eiskeller der Schultheiß-Brauerei durchführen.

Der Apparat war inzwischen nochmals umgebaut worden. Das Quecksilberthermometer, das die Temperatur der erhitzten Luft angab, war wieder durch ein gewöhnliches Thermoelement ersetzt worden. Das Meteorologische Institut stellte mir hierfür ein zweites hochempfindliches Multiflexgalvanometer nach B. Lange zur Verfügung. Trotz dieser Vervollkommnung der Meßeinrichtung mußte aber infolge der sonst noch bestehenden, bereits hervorgehobenen Mängel immer noch mit einer größeren Streuung des Meßwertes gerechnet werden.

Leider ist die Anzahl der brauchbaren Messungen sehr gering, weil später ein Wackelkontakt die Messungen der Beheizung ver-

fälschte. Ich gebe deshalb nur die erste (kurze) Meßreihe, die sich über 22 Minuten erstreckte, wieder:

| Multizellularelement: gemittelter Ausschlag | Thermoelement: gemittelter Ausschlag | in Grad |
|---|---|---|
| 6.75 | 1.70 | 15.5 |
| 6.65 | 1.75 | 15 9 |
| 6.80 | 1.70 | 15.5 |
| 6.70 | 1.80 | 16.4 |
| 6.75 | 1.70 | 15.5 |

Die Streuung der Meßwerte ist auffallend gering. Die mit einem in Zehntel Grad eingeteilten Thermometer gemessene Temperatur des Eiskellers schwankte zwischen —0,9° und —1,1° C. Die relative Feuchtigkeit betrug am Anfang der Messung 84% und stieg dann innerhalb zwei Stunden bis auf 94% an. Sie wurde mit einem Haarhygrometer gemessen.

Leider war es mir nicht möglich, den Eichfaktor für die elektrische Psychrometerdifferenz genau zu bestimmen. Der Umbau des Apparates hatte eine neue Eichung bedingt. Mir stand nur wenig Zeit für die Messungen zur Verfügung, die noch erheblich durch Störungen im Apparat verkürzt wurde. Eine zuverlässige Eichung war infolgedessen praktisch nicht mehr möglich, so daß die Meßergebnisse nicht ausgewertet werden können. Aber die Tatsache, daß die beiden Meßgrößen nur kleine Schwankungen erkennen lassen, scheint doch stark darauf hinzuweisen, daß diese Messungen recht genau sind.

Das gewöhnliche Thermoelement wurde geeicht, indem ich die beiden Lötstellen in zwei Thermosflaschen, die mit Wasser verschiedener Temperatur gefüllt waren, eintauschte. Diese Temperaturdifferenz wurde mehrmals geändert, d. h. vergrößert und verkleinert.

Der Eichfaktor ergab, daß 0,11 Skalenteile des Galvanometers 1° C Temperaturdifferenz entsprechen. Hiernach betrug die Erhitzung der Luft rund 8° C.

Trotz aller Mängel lassen diese Messungen erkennen, daß man bei einer weiteren Vervollkommnung des Gerätes zu recht brauchbaren Angaben kommen müßte.

# Literaturangaben

F. Albrecht: Das geheizte Haarhygrometer als Meßgerät des Wassergehaltes von Wolken und Nebeln. Meteorologische Zeitschrift 1925, Heft 47, S. 204 und 320. In der Arbeit erwähnt auf S. 7 und 53.

H. Bongards: Feuchtigkeitsmessungen. R. Oldenburg, München-Berlin 1926. In der Arbeit erwähnt auf S. 4 und 34.

I. Cratus: Zeitschrift der Vereinigung deutscher Ingenieure 1921, S. 767. Ferner Elektrotechnische Zeitschrift 1921, S. 1176. In der Arbeit erwähnt auf S. 2.

A. Gramberg. Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und im Betriebe. Springer, Berlin 1933. 6. Auflage. Hier erwähnt auf S. 35.

E. Kleinschmidt: Instrumentenkunde. Springer, Berlin 1925. Hier erwähnt auf S. 6.

E. Kleinschmidt: Feuchtigkeitsmessungen bei Registrierballonaufstiegen. Beiträge z. Physik der freien Atmosphäre 1908, Heft 2, S. 99. Hier erwähnt auf S. 6.

H. Köhler. Eine neue Methode zur Bestimmung des Wassergehaltes von Wolken. Meddelanden från Statens Meteorologisk hydrografiska Anstalt. 1928. Band 5, S. 3. Hier erwähnt auf S. 7 und 10.

M. Robitzsch: Beobachtungsmethoden. Bornträger, Berlin 1925. Hier erwähnt auf S. 4 und 6.

R. Süring: Die Wolken. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig. 1926.

A. Weber: Nachweis über die Zuverlässigkeit der Haarhygrometerangaben bei relativen Feuchtigkeiten über 100 %. Dissertation Marburg 1912. Hier erwähnt auf S. 53.

W. Keil: Referat über die Arbeit von L. Behr: A new relative humidity recorder. (Journ. Optical Soc. of America 1926, Band 12, S. 623), in der Zeitschrift für Instrumentenk. 1927. S. 162. Hier erwähnt auf S. 36.

# Lebenslauf

Am 27. Mai 1916 wurde ich als Tochter des deutschen Kaufmanns Eduard Heinrich Jacob de Bary und seiner Ehefrau Elisa geborene Mund zu Antwerpen (Belgien) geboren. Ich wurde evangelisch getauft.

Bis 1918 lebten wir in Antwerpen, flohen dann nach Homburg vor der Höhe bei Frankfurt a. M. Im Frühjahr 1919 zog ich mit meinen Eltern nach den Haag (Holland), wo ich Ostern 1922 in das deutsche Realgymnasium und Oberrealschule kam, das ich bis Ostern 1928 besuchte. Ich kehrte dann mit meinen Eltern nach Antwerpen zurück, wo ich im September 1928 in dem Collège Marie-José eingeschult wurde, in dem ich bis Ostern 1931 blieb. Danach zog ich wieder nach den Haag, um meine Schulzeit Ostern 1934 mit der Reifeprüfung auf der deutschen Oberrealschule zu beenden. Für ein Jahr kehrte ich zu meinen Eltern nach Antwerpen zurück. Im Sommersemester 1935 begann ich das Studium der Meteorologie, Ozeanographie und Geographie an der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin, wo ich es bis zum Wintersemester 1938/39 ununterbrochen fortsetzte. Meine Arbeitsdienstpflicht leistete ich im Sommer 1935 im Erzgebirge ab.

An der hiesigen Universität hörte ich Vorlesungen von den Herrn Professoren Bartels, Defant, von Ficker, Hofmann, Kähler, Knoch, Krebs, Lehmann, Lotze, Louis, Möller, Odebrecht, Panzer, Robitzsch, Rühl, Stille, Stumpff, Troll, Wehnelt, Wüst und Zistler.

Die Vorlesungen umfaßten die Fächer: Meteorologie, Ozeanographie, Geographie, Geologie, Geophysik, Physik und Philosophie.

Allen meinen Lehrern schulde ich größten Dank. Herrn Doktor Paul bin ich zu besonderem Dank verpflichtet für die Anregung zu dieser Arbeit und für seine freundliche Unterstützung. Allen Angehörigen des Meteorologischen Institutes der Universität danke ich für ihre freundliche Hilfe, besonders Herrn Engler, dem Mechaniker, und Herrn Evermann, dem Zeichner des Institutes.